



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

Máquinas Elétricas e Alguns Engenhos 2.ª Edição

AUTOR

André Sá e António Barbosa

COLEÇÃO

Engebook Eletrotecnica

EDITORA

Publindústria - Edições Técnicas

DISTRIBUIÇÃO

Engebook - Conteúdos de Engenharia e Gestão · www.engebook.com

FORMATO: 170 x 240 mm

NÚMERO DE PÁGINAS: 362

SOBRE A EDITORA

A Publindústria assume como missão estratégica a produção de conteúdos direcionados para a Indústria Transformadora. Entre os nossos produtos comunicacionais destacamos a edição de revistas técnico-científicas, uma atividade editorial que iniciámos e vimos a aprofundar desde há 28 anos. A edição de livros técnicos e manuais universitários é uma área de negócios emergente, um desafio e uma prova do envolvimento da Publindústria com os técnicos e cientistas portugueses. Estamos apostados em ocupar o reduzido nicho de mercado do livro técnico nos mais diversos domínios da ciência e tecnologia, que contenham uma forte componente pedagógica e/ou formativa.

SOBRE O LIVRO

Atualmente, as máquinas elétricas desempenham um papel muito importante não só na indústria como no dia-a-dia da generalidade da população. São muito utilizadas como geradores, para produzir energia elétrica, convertendo energia mecânica em energia elétrica, e para produzir energia mecânica, como motores, convertendo a energia elétrica em energia mecânica, e ainda, como transformadores, transformando o nível de tensão, importante não só na utilização de energia elétrica como na sua distribuição e transporte.

Praticamente, em todo o mundo, as máquinas elétricas são ensinadas, e muito justificadamente, em muitas escolas e universidades pelo menos um semestre, e em muitos casos mais do que um semestre. Este livro destina-se a permitir ser utilizado no apoio destes cursos estando previsto que possa ser utilizado parcialmente ou na sua totalidade.

O livro realiza uma abordagem teórica e prática, numa perspetiva multidisciplinar, com o fim de facilitar a compreensão das máquinas elétricas, disciplina aliciante.

SOBRE OS AUTORES

André Sá

Engenheiro Eletrotécnico e de Computadores, ramo de sistemas de energia, pela FEUP – Licenciatura (2000) e Mestrado (2003). Pós-graduado em gestão de energia – eficiência energética, pelo ISQ (2008). Título de Especialista em Engenharia Eletrotécnica pela Universidade de Aveiro (2012). Nascido em Espinho em 1977, é especialista em gestão de energia e em exploração de instalações elétricas. Técnico reconhecido SGCIE. Membro sénior da Ordem dos Engenheiros (Colégio de Engenharia Eletrotécnica). Docente da ESTGA - Universidade de Aveiro no curso de Engenharia Eletrotécnica, tendo já lecionado várias unidades curriculares como Elementos de Eletromagnetismo, Circuitos Elétricos, Máquinas Elétricas, Conceção de Instalações Elétricas, Dimensionamento de Instalações Elétricas, Projeto de Instalações Elétricas, Instalações Elétricas Especiais, entre outras. Formador do CET de Instalações Elétricas e Automação Industrial e do CET de Energias Renováveis da ESTGA-UA em várias disciplinas: Eletrotecnia, Aparelhagem e Medidas Elétricas. Exerceu cargo de Diretor de curso do CET de Energias Renováveis. Docente da Universidade Lusófona do Porto no curso de Engenharia Eletrotécnica de Sistemas de Energia, tendo já lecionado várias unidades curriculares como Projeto de Instalações Elétricas, Instalações Elétricas e orientação de projetos/estágios. Técnico responsável de várias instalações elétricas de serviço particular em alta, média e baixa tensão. Além do presente livro é autor de vários artigos em diversas revistas na vertente energia e eletricidade e autor do livro "Guia de aplicações de gestão de energia e eficiência energética" (3.ª edição). Tem realizado várias formações de carácter industrial: atuadores elétricos, cogeração, eficiência energética, máquinas elétricas, entre outros. Tem colaborado ou já colaborou, entre outros, com o Grupo Têxtil Riopele, INESC Porto, Edifícios Saudáveis Consultores, Schneider Electric Portugal, DAPE, GPS, Smartwatt, Pavicentro, Lidergraf, J.O. Agrícola e Aquatlantis.

António Barbosa

Licenciado em 1977 em Engenharia Eletrotécnica, opção Automação e Controlo pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Iniciou a sua atividade profissional onde, durante mais de 30 anos, realizou projetos, fiscalização e ensaios de instalações elétricas de grande dimensão e, muito especialmente, de instalações de produção de energia de pequena e média potência, nomeadamente de instalações de cogeração. Projetou diversas máquinas elétricas, nomeadamente de motores de indução e transformadores. Simultaneamente, lecionou na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto disciplinas de Eletrotecnia e de Máquinas Elétricas, como assistente estagiário, e, após provas de Aptidão Pedagógica e de Capacidade Científica, como assistente e assistente convidado. Atualmente, leciona no curso de licenciatura em engenharia eletrotécnica como Professor Adjunto convidado na ESTGA - Universidade de Aveiro. É membro sénior da Ordem dos Engenheiros (Colégio de Engenharia Eletrotécnica).

Máquinas Elétricas e Alguns Engenhos – 2.ª Edição

1	Conceitos básicos de circuitos elétricos de potência	2.16	Índices de proteção (IP)
1.1	Introdução	2.17	Tipos de regime
1.2	Diagramas de fasores	2.18	Classes térmicas
1.3	Relações analíticas em circuitos de corrente alternada	2.19	Proteções térmicas
1.4	Polaridade. Notação do sentido das grandezas	2.20	Temperatura ambiente e altitude da instalação
1.5	Sistemas trifásicos	2.21	Formas construtivas normalizadas
1.5.1	<i>Introdução</i>	2.22	Altura do eixo
1.5.2	<i>Ligação em triângulo</i>	2.23	Atmosferas explosivas
1.5.3	<i>Ligação em estrela</i>	2.24	Exercícios resolvidos
1.5.4	<i>Sequência de fases</i>	2.24.1	Exercício 1
1.6	Potências	2.24.2	Exercício 2
1.6.1	<i>Introdução</i>	2.24.3	Exercício 3
1.6.2	<i>Potência complexa</i>	2.24.4	Exercício 4
1.6.3	<i>Triângulo de potências</i>	2.24.5	Exercício 5
1.6.4	<i>Fluxo de potência</i>	2.24.6	Exercício 6
1.6.5	<i>Potências em sistemas trifásicos equilibrados</i>	2.24.7	Exercício 7
1.7	Questões de estudo	2.24.8	Exercício 8
1.8	Exercícios	3	Conceitos fundamentais da conversão de energia em eletrotécnica
1.8.1	Exercício 1	3.1	Introdução
1.8.2	Exercício 2	3.2	A força mecânica num condensador
1.8.3	Exercício 3	3.3	O campo magnético num toro
1.8.4	Exercício 4	3.4	Circuitos magnéticos série e paralelo
1.8.5	Exercício 5	3.5	Materiais ferromagnéticos
1.8.6	Exercício 6	3.6	Circuitos magnéticos em materiais ferromagnéticos e no ar
1.8.7	Exercício 7	3.7	O Fluxo magnético de fugas
1.8.8	Exercício 8	3.8	Potência de perdas no núcleo de ferro
1.8.9	Exercício 9	3.9	Fluxo magnético de ligação
1.8.10	Exercício 10	3.10	Força e energia armazenada em campos magnéticos
1.8.11	Exercício 11	3.11	Coefficiente de autoindução e indutância mútua
1.8.12	Exercício 12		Questões de estudo
2	Alguns conceitos fundamentais de mecânica	4	Máquinas de corrente contínua
2.1	Introdução	4.1	Introdução
2.2	Força mecânica	4.2	Gerador de corrente contínua (dínamo)
2.3	Binário mecânico	4.2.1	<i>A produção de uma tensão</i>
2.4	Energia mecânica (trabalho)	4.2.2	<i>Força eletromotriz (fem)</i>
2.5	Potência mecânica	4.2.3	<i>Binário eletromagnético</i>
2.6	Potência de um motor rotativo	4.2.4	<i>Tipos de bobinagem</i>
2.7	Transformação de energia	4.2.5	<i>Constituição</i>
2.8	Rendimento de uma máquina elétrica	4.2.6	<i>Configurações</i>
2.9	A energia cinética com o movimento linear	4.2.7	<i>Curvas características</i>
2.10	A energia cinética numa massa com o movimento de rotação	4.3	Exercícios sobre dínamos
2.11	Variação de velocidade	4.3.1	Exercício 1
2.12	Velocidade de um sistema mecânico, velocidade de um motor	4.3.2	Exercício 2
2.13	Fluxo de potência mecânica num sistema acoplado	4.3.3	Exercício 3
2.14	Análise de um motor acionando uma carga considerando a inércia	4.4	Motor de corrente contínua
2.15	Acionamento de cargas com movimentos lineares com motores elétricos	4.4.1	<i>Princípio de funcionamento</i>

- 4.4.2 *Constituição*
- 4.4.3 *A força contra eletromotriz*
- 4.4.4 *Corrente de arranque*
- 4.4.5 *Potência mecânica*
- 4.4.6 *Balanco energético*
- 4.4.7 *Controlo de velocidade (motor de excitação independente)*
- 4.4.8 *Configurações*

4.5 Exercícios resolvidos sobre motores DC convencionais

- 4.5.1 Exercício 1
- 4.5.2 Exercício 2
- 4.5.3 Exercício 3
- 4.5.4 Exercício 4
- 4.5.5 Exercício 5
- 4.5.6 Exercício 6

4.6 Máquinas DC não convencionais (de íman permanente)

- 4.6.1 *Íman permanente convencional*
- 4.6.2 *Sem núcleo (coreless)*
- 4.6.3 *Sem escovas (brushless)*

5 Transformador monofásico

5.1 Aspetos gerais

5.2 A necessidade de utilização de transformadores

5.3 O transformador monofásico ideal

- 5.3.1 *Funcionamento em vazio*
- 5.3.2 *Fluxo de dispersão*
- 5.3.3 *Funcionamento em carga*

5.4 Obtenção do circuito equivalente

- 5.4.1 *Redução do secundário ao primário*
- 5.4.2 *Circuito equivalente simplificado reduzido ao primário*
- 5.4.3 *Ensaio em vazio*
- 5.4.4 *Ensaio em curto-circuito*

5.5 Corrente de curto-circuito à tensão nominal

- 5.5.1 *Corrente de curto-circuito no secundário*
- 5.5.2 *Corrente de curto-circuito no primário*

5.6 Corrente de ligação

5.7 Queda de tensão em carga

- 5.7.1 *Aproximação de Kapp*
- 5.7.2 *Regulação*

5.8 Constante de tempo térmica

5.9 Perdas

- 5.9.1 *Perdas no cobre*
- 5.9.2 *Perdas no ferro*

5.10 Balanco Energético

- 5.10.1 *Potências ativas*
- 5.10.2 *Potências reativas*
- 5.10.3 *Rendimento*
- 5.10.4 *Algumas oportunidades de redução do consumo de energia*

5.11 Magnetostrução

5.12 Elementos constitutivos

- 5.12.1 *Constituição geral*
- 5.12.2 *Núcleo*
- 5.12.3 *Enrolamentos*

5.13 Exercícios resolvidos

- 5.13.1 Exercício 1
- 5.13.2 Exercício 2
- 5.13.3 Exercício 3

- 5.13.4 Exercício 4
- 5.13.5 Exercício 5
- 5.13.6 Exercício 6
- 5.13.7 Exercício 7

6 Transformador trifásico

6.1 Introdução

6.2 Exemplo de utilização

6.3 Constituição

6.4 Tipos de Ligações

6.5 Exemplos de aplicações dos tipos de ligação

6.6 Tipos de núcleo de transformadores trifásicos

6.7 Designações dos terminais

6.8 Potências e rendimento

6.9 Relação de transformação e relação do número de espiras

6.10 Índice Horário

6.11 Paralelo de transformadores

6.12 Ensaaios

- 6.12.1 *Ensaio em vazio*
- 6.12.2 *Ensaio em curto-circuito*

6.13 Transformadores de distribuição MT/BT

- 6.13.1 *Introdução*
- 6.13.2 *Classes de temperatura mais utilizadas*
- 6.13.3 *Proteções*
- 6.13.4 *Códigos de refrigeração*
- 6.13.5 *Colocação em serviço*
- 6.13.6 *Manutenção*
- 6.13.7 *Algumas oportunidades de melhoria no consumo de energia*

6.14 Exercícios resolvidos

- 6.14.1 Exercício 1
- 6.14.2 Exercício 2
- 6.14.3 Exercício 3

7 Transformadores especiais

7.1 Introdução

7.2 Autotransformador

- 7.2.1 *Autotransformador monofásico*
- 7.2.2 *Autotransformador trifásico*

7.3 Transformadores de medida

- 7.3.1 *Introdução*
- 7.3.2 *Transformadores de Tensão (TT)*
- 7.3.3 *Transformadores de Corrente (TC ou TI)*
- 7.3.4 *Transformador de corrente somador*

7.4 Transformadores trifásicos usando apenas dois transformadores

- 7.4.1 *Transformador com ligação V – V (ou Δ aberto)*
- 7.4.2 *Transformador com ligação Scott*
- 7.4.3 *Transformador com ligação Le Blanc*

7.5 Transformadores de número de fases

- 7.5.1 *Transformador trifásico – hexafásico*

7.6 Exercícios resolvidos

- 7.6.1 Exercício 1
- 7.6.2 Exercício 2
- 7.6.3 Exercício 3
- 7.6.4 Exercício 4

8 Máquinas de indução

8.1 Introdução

8.2 Aspetos construtivos

8.3 Campo magnético girante

8.4 A máquina em serviço

8.5 Os três modos de serviço

8.5.1 *Serviço motor*

8.5.2 *Serviço gerador*

8.5.3 *Serviço freio*

8.6 Modelo. O circuito equivalente.

8.6.1 *Introdução*

8.6.2 *O sistema do estator*

8.6.3 *O sistema do rotor*

8.6.4 *O circuito equivalente completo*

8.6.5 *Várias configurações de circuitos equivalentes simplificados*

8.7 Ensaio em vazio, ensaios com o rotor bloqueado e os parâmetros do circuito equivalente

8.7.1 *Ensaio em vazio*

8.7.2 *Ensaio de rotor bloqueado*

8.7.3 *Exemplo*

8.8 Características de desempenho

8.9 Fluxos de potência nos três modos de serviço

8.9.1 *Introdução*

8.9.2 *Fluxo de potência como motor*

8.9.3 *Fluxo de potência como gerador*

8.9.4 *Fluxo de potência como freio*

8.10 Efeitos da resistência do rotor

8.11 Técnicas de estimativa de carga

8.11.1 *Métodos gráficos*

8.11.2 *Método baseado na medição da potência elétrica*

8.11.3 *Método baseado na medição do deslizamento (método menos preciso)*

8.11.4 *Método baseado na medição do deslizamento (método mais preciso)*

8.12 Motor de indução de elevado rendimento

8.12.1 *Classificação do desempenho energético de motores*

8.12.2 *Avaliação económica do investimento*

8.12.3 *Metodologia dos Custos de Ciclo de Vida*

8.13 Arranque de sistemas mecânicos com motores de indução

8.13.1 *Introdução*

8.13.2 *Arranque direto*

8.13.3 *Arranque estrela – triângulo (Y - D)*

8.13.4 *Arranque por impedâncias no estator*

8.13.5 *Arranque por resistências no rotor*

8.13.6 *Arranque em motores de enrolamentos divididos ("part-winding")*

8.13.7 *Arranque com autotransformador*

8.13.8 *Arranque eletrónico por variação da tensão*

8.13.9 *Resumo de tipos de arranque*

8.14 Variação de velocidade

8.14.1 *Introdução*

8.14.2 *Enrolamentos no estator separados*

8.14.3 *Variação da amplitude da tensão*

8.14.4 *Variação eletrónica de velocidade (conversores de frequência)*

8.14.5 *Outros sistemas eletromecânicos de variação de velocidade*

8.15 Frenagem elétrica

8.15.1 *Frenagem por recuperação de energia*

8.15.2 *Frenagem por inversão do campo girante*

8.15.3 *Frenagem por injeção de corrente contínua*

8.16 Motores trifásicos alimentados em monofásico

8.17 Desempenho do motor de indução monofásico

8.17.1 *Introdução*

8.17.2 *Motor de indução monofásico com fase auxiliar*

8.17.3 *Motor de indução monofásico com condensador de arranque*

8.17.4 *Motor de indução monofásico com condensador permanente*

8.17.5 *Motor de indução monofásico com dois condensadores*

8.17.6 *Motor de indução monofásico com polos sombreados*

8.18 Exercícios resolvidos

8.18.1 *Exercício 1*

8.18.2 *Exercício 2*

8.18.3 *Exercício 3*

8.18.4 *Exercício 4*

8.18.5 *Exercício 5*

8.18.6 *Exercício 6*

8.18.7 *Exercício 7*

8.18.8 *Exercício 8*

8.18.9 *Exercício 9*

8.18.10 *Exercício 10*

8.18.11 *Exercício 11*

8.18.12 *Exercício 12*

8.18.13 *Exercício 13*

8.18.14 *Exercício 14*

8.18.15 *Exercício 15*

8.18.16 *Exercício 16*

9 Máquinas síncronas

9.1 Introdução

9.2 Máquina síncrona convencional

9.2.1 *Introdução*

9.2.2 *Configuração geral de um alternador*

9.2.3 *Princípio de funcionamento*

9.2.4 *Campo magnético girante*

9.2.5 *Número de polos*

9.2.6 *Força eletromotriz*

9.2.7 *Estator*

9.2.8 *Rotor*

9.2.9 *Sistemas de excitação*

9.2.10 *Alternador Lundell*

9.2.11 *Exemplo de integração em unidade de produção*

9.2.12 *Curva de tensão em vazio (característica em vazio)*

9.2.13 *Curva de corrente em curto-circuito (característica em curto-circuito)*

9.2.14 *Reatância síncrona*

9.2.15 *Característica em carga*

9.2.16 *O alternador alimentando uma carga isolada*

9.2.17 *Paralelo com a rede*

9.3 Máquina síncrona convencional como motor

9.3.1 *Introdução*

9.3.2 *Curvas em V ou de Mordey*

9.3.3 *Funcionamento como compensador síncrono*

9.3.4 *Exemplo de um alternador a alimentar um motor síncrono*

9.3.5 *Comparação*

9.4 Motor passo-a-passo

9.5 Motor de síncrono de íman permanente ou motor de relutância síncrono

9.6 Exercícios resolvidos

9.6.1 *Exercício 1*

9.6.2 *Exercício 2*

Algumas Referências